

Opinnäytetyö (AMK)

Tuotantotalous

NTUTAS14

2017

Niilo Aho

# TUOTANTOPROSESSIN KEHITTÄMINEN

– Lajittelurobotin käyttöönotto tuotannossa



OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tuotantotalous

2018 | 30

Tero Reunanen, Sakari Koivunen

Niilo Aho

# TUOTANTOPROSESSIN KEHITTÄMINEN

## - Lajittelurobottisolun käyttöönotto

Työn tavoitteena oli lajittelurobottisolun käyttöönotto Tactic Games Oy:n tuotantolinjastolla. Tavoitteena on saada käyttämätön tuotantolaite kiinteäksi osaksi tuotantoa, ja samalla vähentää käsin tehdyn työn määrää. Työn tueksi suoritettiin mittaus, jonka avulla pystyttiin vertailemaan käsin tehdyn työn tulosta robotilla saavutettuun tulokseen. Kokonaiskuvan muodostamiseksi tuotantolinjaston esimiehiä haastateltiin solun aiemmista vaiheista.

Aluksi työssä perehdyttiin teollisuusrobotiikan teoriaan ja sen vaikutuksiin liiketoiminnassa. Ne luovat yleiskäsityksen siitä, miksi robotiikka on nykyään kiinteä osa teollista tuotantoa, ja mitä niiden avulla voidaan saavuttaa. Tämän jälkeen esitellään tarkemmin lajittelurobottisolu ja sen eri osat. Kappale perustuu suurelta osin teknisten ominaisuuksien esittelyyn. Kolmas kappale kertoo, miten robottisolua on aikaisemmin yritetty ottaa käyttöön, mutta erinäisten ongelmien myötä jäänyt lähes käyttämättömäksi.

Lopputuloksena esitettiin liiketoiminnan kannalta selkeät edut, jotka robottisolun käyttöönotolla on mahdollista saavuttaa. Samaten esitettiin konkreettisia ratkaisuehdotuksia, joiden avulla solu saataisi täysin mukaan tuotantoon ja esitetyt edut realisoituisivat toimeksiantajalle. Esitettyjen ratkaisuehdotusten toteuttaminen jää toimeksiantajan vastuulle, ja niiden toteuttamista ei tässä työssä seurata.

### ASIASANAT:

Robotiikka, teollisuusautomaatio, kehittäminen, kokoonpano

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Industrial engineering

2018 | 30

Tero Reunanen, Sakari Koivunen

Niilo Aho

## IMPROVING THE PRODUCTION

### - Commissioning the sorting robot cell

This thesis deals with commissioning the sorting robot cell at the assembly line of Tactic Games Ltd. The main focus is to get the robot cell fully functional and also decrease the manual labour work. During the process was done a performance measurement between man and robot cell so that the commissioning could be justified. Working supervisors were also interweaved to get a general view of the previous phases of the robot cell.

At the first part is discussed about theory related to industrial robotics and how industrial robotics and automation generally effect to business. This theory helps understanding the big picture of modern manufacturing industry where automation and robotics are crucial parts to success. After that the robot cell its different parts are introduced. The chapter focuses mainly to technical aspects of different parts. The third chapter discuss about the previous phases of the robot cell and what kind of problems the client has faced and why it hasn't been used like planned.

The outcome introduces solid advantages, based on theoretical arguments, that can be achieved. There are also introduced tangible propositions to get the robot cell fully functional in the assembly line. All the propositions that are made at this work will be introduced to managers and they will decide what actions should be performed.

#### KEYWORDS:

Robotics, industrial automation, development, assembly

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
1.1 Yritysesittely	7
<b>2 TEOLLISUUSROBOTIIKKA</b>	<b>8</b>
2.1 Teollisuusrobotiikka nykytilanne	8
2.2 Teollisuusrobotiikan vaikutukset liiketoimintaan	12
2.3 Vaikutukset tuottavuuteen	14
2.4 Vaikutukset laatuun	16
2.5 Teollisuusrobotiikka ja ergonomia	17
<b>3 ROBOTTISOLU</b>	<b>19</b>
3.1 Tuotantoprosessi	20
3.2 SCARA Robotti	22
3.3 Tärymalja	23
<b>4 ROBOTTISOLUN KÄYTTÖÖNOTTO</b>	<b>24</b>
4.1 Ennen mittauksia	24
4.2 Koe-erä ja mittaukset	25
<b>5 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>26</b>
5.1 Mittauksien havaintoja	26
5.2 Robottisolun toiminnan vaikutukset	27
5.3 Jatkotoimenpiteitä	28
<b>LÄHTEET</b>	<b>30</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Käytössä olevat teollisuusrobotit maakohtaisesti
- Liite 2. Kaavat, kuvat, kuviot ja taulukot
- Liite 3. Mittauspöytäkirja 1
- Liite 4. Mittauspöytäkirja 2
- Liite 5. Laskelma tuotannon mahdollisista säästöistä
- Liite 6. Koonnos toimeksiantajalle

## KAAVAT

Kaava 1 Tuottavuuden kaava	14
----------------------------	----

## KUVAT

Kuva 1 Teollisuusrobottien toimitusmäärät vuosina 2008-2020	9
Kuva 2. 15 suurinta teollisuusrobotiikkaan investoivaa maata	10
Kuva 3 Suomessa käytössä olevien teollisuusrobottien kehitys	11
Kuva 4 Esimerkki systeemi dynamiikan mallin kuvantamisesta	13
Kuva 6 Robottisolun layout.	21
Kuva 7 Kuva 5 SCARA Robotti	22
Kuva 8 Solun tärymaljat	23

# 1 JOHDANTO

Vaikka automaation ja robottien käyttö teollisuudessa on jo pitkään ollut suurille yrityksille itsestään selvää, voi se edelleen olla haastavaa pienille ja keskisuurille yrityksille. Suuret hankintakustannukset, työntekijöiden kouluttaminen ja yleinen muutosvastarinta ovat seikkoja, joita varmasti jokaisen yrityksen tulee pohtia ennen robottien mahdollista hankkimista.

Opinnäytetyön aiheena on perehtyä toimeksiantajayrityksen robottisolun käyttöönottoon. Tavoitteena on löytää ratkaisu tilanteeseen, jossa käyttämättömänä oleva robotti saataisi kunnolla käyttöön tuotantolinjastolla, ja näin ollen vähennettyä käsin tehtävän työn määrää. Toimeksiantajan kannalta tilanteen ratkaiseminen on erityisen tärkeää, sillä solu on ollut käyttämättömänä jo jonkin aikaa. Tällä hetkellä se vain sitoo pääomaa, eikä tuota juurikaan lisäarvoa. Solu on osa lautapeliin tuotantolinjastoa, ja sitä on mahdollista käyttää 1-4 korttipakan käsittelyyn.

Työn tueksi suoritetaan muutamia haastatteluita toimeksiantajan henkilöstöllä, jotka ovat työskennelleet robottisolun kanssa, ja tuntevat sen eri vaiheet. Työn kannalta tärkeässä roolissa ovat juuri työntekijät, jotka osaavat kertoa sen haasteista ja niiden mahdollisista ratkaisuista ja ratkaisuyrityksistä joita on jo aiemmin suoritettu.

## 1.1 Yritysesittely

Tactic Games Oy on suomalainen perheyritys, joka on valmistanut lautapelejä vuodesta 1967 lähtien. Sen tunnetuimpia tuotteita ovat Kimble ja Alias, joita myydään nykyisin ympäri maailmaa. Aluksi Tactic keskittyi ainoastaan erilaisten lautapeliin valmistamiseen, mutta nykyisin se valmistaa myös erilaisia kortti- sekä pihapelejä, lasten kirjoja ja asiakaspainotöitä. Tactic Games:lla on myös oma pehmolelu-brändi. Suuri osa sen tuotteista valmistetaan Suomessa Porin tehtaalla, ja yritys luottaa voimakkaasti kotimaisen työn laatuun. Vuonna 2016 sen liikevaihto oli noin 24 miljoonaa euroa, ja se työllisti noin 150 henkilöä.

Tactic Games Oy kehittää ja laajentaa liiketoimintaa jatkuvasti, ja muun muassa vuoden 2016 aikana se osti Molkky pelin oikeudet Lahtelaiselta Työn Paikka Oy:ltä. Vuoden 2017 alusta puupelien tuotanto siirrettiin kokonaan Poriin. Molkky pelin myötä Tactic haakeekin uusia kasvumahdollisuuksia mm. Keski-Euroopasta ja Pohjois-Amerikasta.

Lautapeliin tuotanto on perinteisesti pitänyt sisällään paljon käsityötä, ja näin on myös pystytty varmistumaan tuotteiden korkeasta laadusta. Moderni tuotantoprosessi vaatii kuitenkin jatkuvaa panostusta nykyaikaisiin tuotantolaitteisiin. Yritys hyödyntääkin tuotannon eri vaiheissa automaatiota ja robotiikkaa, esimerkkinä vuonna 2017 käyttöön otettu uusi automaatiovarasto, joka on kokonaan robotin operoima.

## 2 TEOLLISUUSROBOTIIKKA

Teollisuusrobotiikka määritellään automaattisesti ohjattavaksi laitteeksi, jota käytetään teollisuuden eri automaatiosovelluksissa, ja vähintään kolme sen akseleista on ohjelmoitavissa. Laite voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva. (SFS-EN ISO 10218-1)

Teollisuusrobotiikan kehitys alkoi Yhdysvalloissa 1950-luvun puolessa välissä. Ensimmäinen teollisuusrobotti otettiin käyttöön vuonna 1961 General Motorsin tehtaalla, jossa sen tehtävänä oli osien siirtäminen painevalukoneelta jäähdyttimen kautta liukuhihnalle. Robotti oli nimeltään Unimate 001, ja se sai heti käyttöönoton jälkeen runsaasti huomiota. (Chaline 2012, 171)

Kaikkien yllätykseksi, robotti toimi moitteettomasti, ja työntekijät ottivat sen vastaan hyvin. Robotin keksijöiden pelkona oli, että tehdastyöläiset yrittäisivät jotenkin sabotoida sen käyttöönoton, niin kuin 1800-luvulla tekstiilityöläiset sabotoivat uusien kutomakoneiden käyttöönoton. General Motors oli niin tyytyväinen robotin työskentelyyn, että vuonna 1969 se automatisoi koko autotehtaan Ohion Lordstownissa. Näin tehtaan kapasiteetti saatiin nostettua 110 autoon tunnissa, joka oli tuplasti aikaisempaan verrattuna. (Chaline 2012, 172)

Jälkikäteen tarkasteltuna General Motorsin autotehtaan automatisoinnilla oli suuri vaikutus robotiikan tulevaisuudelle. Vielä 1920- ja 1930-luvuilla alan tulevaisuuden uskottiin olevan ihmismäisissä roboteissa, mutta autoteollisuuden omaksuttua automaation osaksi tuotantoprosesseihinsa, kehitys siirtyi kohti nykymuotoista teollisuusrobotiikka. (Chaline 2012, 173)

### 2.1 Teollisuusrobotiikka nykytilanne

Teollisuusrobotiikan käyttö eri teollisuuden aloilla on lisääntynyt jatkuvasti. Autoteollisuus ja sen alihankkijat on perinteisesti olleet suurin yksittäinen ala, joka on hyödyntänyt sitä erityisen paljon (Borgårdh 2007, 69). Tämä on vaikuttanut myös robottien kehittämiseen ja kehittymiseen sopivaksi palvelemaan tiettyä sektoria. Pelkästään General Motors käytti 40 miljardia dollaria uuden robottiteknologian tutkimus- ja kehitystoimintaan 1980-luvun aikana. (Bogue R, 2013)

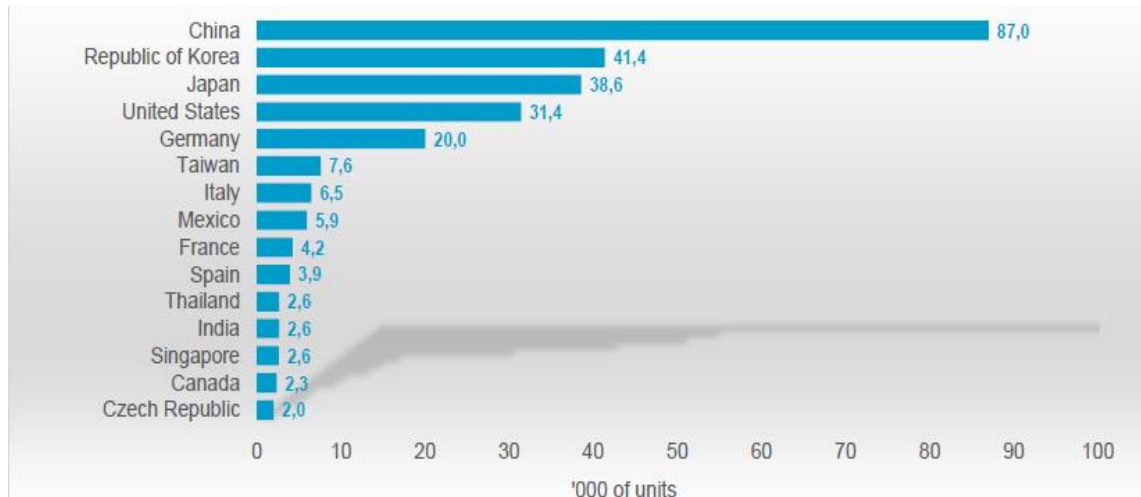


International Federation of Roboticsin julkaisemassa tilastossa (Kuva 1) näkyy uusien teollisuusrobottien toimitusmäärät vuosina 2008-2016, sekä ennuste vuosille 2016-2020. Kuvassa on näkyvissä selvä trendi, eli tasainen kasvu, jonka ennustetaan jopa voimistuvan vuoteen 2020 mennessä. Merkittävänä tekijänä kasvulle voidaan pitää teknologian kehittymistä, ja sen mukanaan tuomia mahdollisuuksia eri aloille. Esimerkiksi tietokoneiden laskentatehon lisääntyminen mahdollistaa erilaisten tietokonesimulaatioiden käytön teollisuusrobotteja ohjelmoitaessa.



Kuva 1 Teollisuusrobottien toimitusmäärät vuosina 2008-2020 (<https://ifr.org/free-downloads/>)

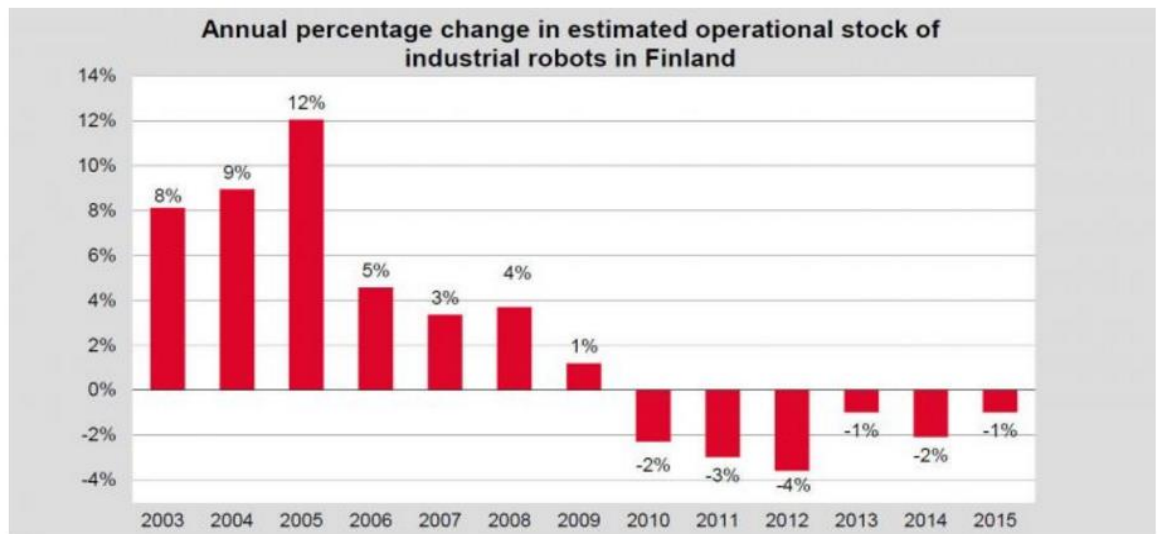
Vaikka teollisuusrobottien määrä maailmanlaajuisesti kasvaa koko ajan, on huomioitava, että investoinnit uusiin robottihankintoihin keskittyvät suhteellisen pieneen määrään maita. Kuvassa 2 on esitetty teollisuusrobottien määrien jakautuminen alueellisesti. Selvästi suurimpana maantieteellisenä alueena esiin nousee Aasia, josta kaikki kolme kuvan 2 kärkimaata tulevat. Kiina on tällä hetkellä suurin markkina teollisuusrobotiikassa. Kiinan väkiluku tulee kuitenkin ottaa myös huomioon tutkittaessa tilastoja. Väkiluvultaan maailman suurimman valtion teollisuussektori on myös kooltaan niin laaja, että teollisuusrobottien suhde väkilukuun jää kuitenkin vielä monesta muusta Aasian maasta. (liite 1 ja liite 2)



Kuva 2. Viisitoista suurinta teollisuusrobotiikkaan investoivaa maata (<https://ifr.org/free-downloads/>)

Suomessa investoinnit uusiin teollisuusroboteihin ovat pienentyneet vuoden 2009 finanssikriisin jälkeen jopa niin voimakkaasti, että käytössä olevien laitteiden määrä pieneni kuutena vuonna peräkkäin, vuosina 2010-2016. (Kuva 3) Tilannetta voidaan pitää huolestuttavana, koska muualla maailmassa tilanne on täysin päinvastainen. Suomalaiselle teollisuudelle suurimmat kilpailijat tulevat Ruotsista ja Saksasta, joissa molemmissa teollisuusrobottien määrä on ollut tasaisessa kasvussa. Suomessa varsinkin Pk-yrityksien kannattaisi arvioida mahdollisuuksia, jotka automaatio ja teollisuusrobotiikka tuovat tullessaan.

Sen lisäksi että robotiikan avulla voidaan parantaa tuottavuutta ja laatua, on sillä väistämättä vaikutusta myös kokonaiskilpailukykyyn. On perusteltua olettaa, että teollisuusrobottien käyttökustannukset ovat Suomessa ja Kiinassa paljon lähempänä toisiaan, kun tehdastyöläisen tekemä työ Suomessa ja Kiinassa. Tämä johtuu pääosin siitä, että robotiikassa suurin yksittäinen kustannus muodostuu hankintakustannuksista, jotka globaaleilla markkinoilla pitäisi olla arviolta saman suuruisia molemmissa maissa. Pitkittynyt hankala taloustilanne vuodesta 2009 asti on varmasti vaikuttanut kyseisiin investointipäätöksiin, ja vuonna 2017 tapahtunut talouden piristymisen on oletettavaa näkyvän myös uusina investointeina automaatioon ja teollisuusrobotiikkaan.



Kuva 3 Suomessa käytössä olevien teollisuusrobottien kehitys. (<https://roboyhd.fi/2016/09/30/teollisuuden-robottikannan-vaheneminen-on-pysahtynyt/>)

Suomessa teollisuusrobotiikan suurimpana hyödyntäjänä on perinteisesti konepajateollisuutta, jonka investoinnit ovat kattaneet noin 4% kaikista investoinneista. Vuonna 2016 Uudenkaupungin autotehdas automatisoi lähes kokonaan korihitsaamonsa. Tätä varten se hankki noin 250 robottia Ruotsalaiselta ABB:ltä. Kyseinen määrä vastaa normaalisti yhden vuoden robotti-investointeja koko Suomessa, joten sitä voidaan pitää todella merkittävänä Suomen mittakaavassa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016). Uudenkaupungin autotehtaan robottimäärä nousi näin kokonaisuudessaan yli 500 (<http://www.talouselama.fi/uutiset/uudenkaupungin-autotehdas-teki-huiman-robottikaupan-suomen-kaikkien-aikojen-suurin-6310509>). Investointia voidaan pitää tärkeänä myös Suomalaiselle robotiikkaosaamiselle, sillä yli 250 uuden robotin käyttöönotto ja ylläpito vaativat paljon ammattitaitoa. Varsinais-Suomeen automaatio- ja robotiikkaosaamista lisää myös Rolls-Royce Marinen tutkimuskeskus, joka tutkii automaattisen rahtilaivojen kehittämistä yhdessä Tampereen Teknillisen Ylipiston ja VTT:n kanssa. Havaittavissa onkin, että isossa mittakaavassa automatiikka ja robotiikka tunnustetaan tulevaisuuden kasvualana. Pk-yrityksissä robottien investointikustannukset voivat kuitenkin muodostaa vielä liian suuren riskin, jonka seurauksena teollisuusrobottikanta pieneni ainakin viitenä vuonna peräkkäin (kuva 3).

## 2.2 Teollisuusrobotiikan vaikutukset liiketoimintaan

Teollisuusrobotiikan vaikutukset nykyaikaisessa teollisuudessa on valtavat. Massatuotanto nykyisessä mittakaavassa tuskin olisi mahdollista ilman nykyaikaista automaatio- ja robottiteknologiaa. Sen vaikutukset eivät myöskään rajaudu millekään tietylle alalle, vaan teollisuusrobotiikkaa hyödynnetään kaikilla teollisuuden aloilla.

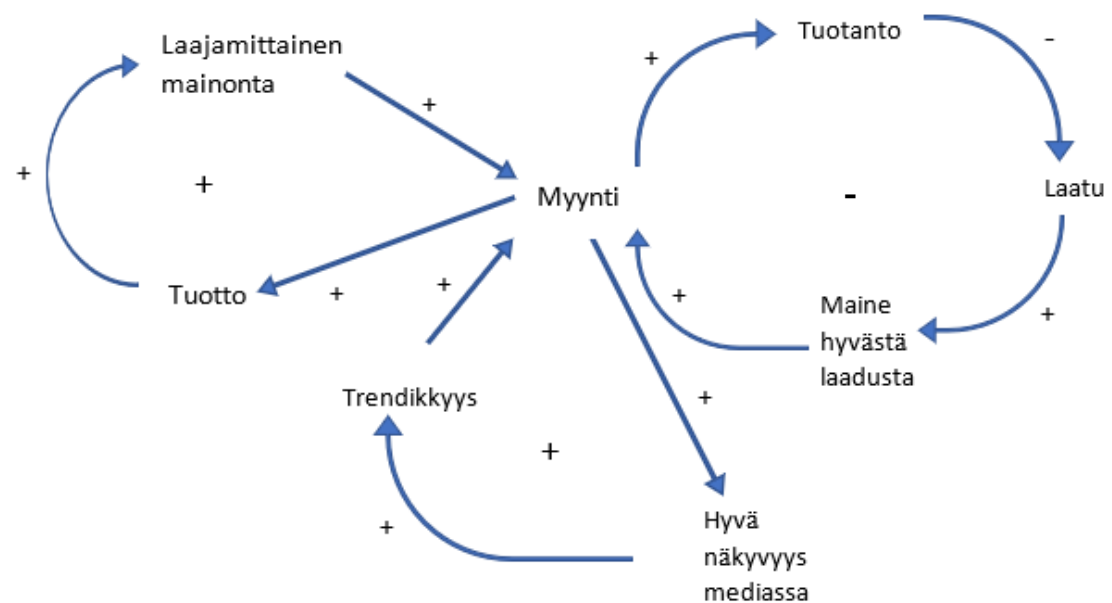
Liiketoiminnan arviointi ja sen suorituskyvyn mittaaminen tarjoavat arvokasta dataa yrityksen tilasta. Ennen kuin voidaan arvioida robotiikan, tai jonkun muun kehitystoiminnan vaikutuksia, tulee arvioitavat mittarit olla selvillä. Jokainen yritys määrittää itselleen sopivat mittarit ja työkalut, joilla se pystyy seuraamaan jokapäiväistä toimintaa. Liiketoiminnan suorituskykyä mittaamaan kirjassa Operations Management (Slack ym. 2013, 46) on esitelty viisi kohtaa, jotka ovat täysin sovellettavissa kaikille yrityksille, toimialasta riippumatta.

- Laatu: Valmistetaan tuote tai palvelu oikein, juuri sellaiseksi kuin asiakas on sen tilannut
- Nopeus: Pyritään pitämään tilauksen ja toimituksen välinen aika mahdollisimman lyhyenä. Keskenäinen tuotanto sitoo paljon pääomaa, joka on pois muusta yritystoiminnasta.
- Luotettavuus: Asiat hoidetaan niin kuin on sovittu, on kyse sitten toimitusaikataulusta tai sopimusasioista.
- Joustavuus: Tuotannon muokattavuus. Onko tuotantolinjasto ”helposti” muokattavissa uudelle tuotteelle.
- Kustannukset: Kustannusten seuranta ja turhien kustannusten karsiminen on jokaisen yrityksen prioriteetti, koska kustannukset liittyvät kiinteästi tuottavuuteen.

Sen lisäksi, että tuotannon automatisointia tulee pohtia yllä listattujen asioiden valossa, asiaa tulisi pohtia myös laajemmassa mittakaavassa, kokonaisuutena. Kokonaisuuden hahmottamiseen ja analysointiin on olemassa valtavasti erilaisia työkaluja. Systeemiajattelu on Michael C. Jacksonin mukaan erinomainen keino lähestyä nykypäivän monimutkaisia ongelmia.

Kirjassaan Systems Thinking: Creative Holism to Managers (2003) hän esittää mallin nimeltä System Dynamics. Sen tavoitteena on oppia ymmärtämään suuria ja epälineaarisia kokonaisuuksia, mm. miten muutokset vaikuttavat pitkällä aikavälillä. Tutkittavasta ongelmasta luodaan systeemi dynamiikan kaavio, joka muistuttaa jonkin verran mind

map-karttaa. Kaavion erona mind mappiin on, että siinä toisiinsa linkittyvistä asioista luodaan silmukoita, eli ketju päättyy myös aina lähtöpisteeseen. Siihen myös merkataan yksittäisten toimintojen vaikutus, plus- tai miinusmerkillä, sekä koko silmukan vaikutus. Näin siitä saa muodostettua visuaalisen kokonaiskuvan. Kuvassa 4 on esimerkki kaaviosta, joka mallintaa uuden tuotteen julkaisua, ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Systeemi dynamiikan malli sopii loistavasti myös teollisuusrobotiikan vaikutusten arviointiin, koska pitkän aikavälin vaikutukset ovat todella tärkeä tutkia ja arvioida kattavasti ennen suuria investointeja.



Kuva 4 Esimerkki systeemi dynamiikan mallin kuvantamisesta (sovellettu Jackson 2003, 71)

Usein automaation ja robotiikan uskotaan vievän työpaikkoja tavallista tehdastyöntekijöiltä. Tämä saattaa johtua siitä, että robottien hankintaa saatetaan perustella melko suppeasti, esimerkiksi nopeuden kannalta. Jos asiaa katosotaan ainoastaan yhden robotin tai robottisolun kohdalla, jossa esimerkiksi kolmen ihmisen työpanos voidaan korvata yhdellä automaattioratkaisulla, pitää asia varmasti paikkansa. Tulee kuitenkin huomata, että robotti vaatii aina vähintään yhden käyttäjän, jotta se voisi toimia normaalisti. Ope-  
raattorin lisäksi se vaatii ihmisen työpanosta mm. käyttöönotossa, huollossa ja ohjelmoinnissa. Eli ihmistyön tarve ei välttämättä vähenny, vaan sitä tarvitaan muualla. (Graetz & Michaels 2015)

Robottiikan vaikutuksia työhön ja työn tekijöihin on tutkittu paljon. Suuressa mittakavassa tarkasteltuna vaikutukset ovat selvät. Matala- ja keskipalkkaiset työntekijät voivat todennäköisimmin menettää työnsä, mutta uusia työpaikkoja syntyy tilalle. USA:n maatalous työllisti 1900-luvun alussa noin 40% koko valtion työvoimasta. 2010-luvulla vastaava luku 2%. Uusia työpaikkoja on syntynyt tuona aikana ennen kaikkea palvelusektorille. Jälkikäteen tarkasteltuna muutosta voidaan pitää täysin luonnollisena osana teknologian kehitystä, vaikka se on aiheuttanut hetkellisesti työttömyyttä.

Yksilön näkökulmasta katsottuna tilanne voi kuitenkin olla synkempi. Uusien teknologioiden lisääntyminen työmaailmassa vaatii myös työntekijältä uuden oppimista. On kuitenkin realistista olettaa, että osa työntekijöistä ei pysy kehityksen mukana, vaan ajautuu tästä syystä alemman vaatimus- ja palkkatason töihin. Robottiikan vaikutukset voivat myös näyttäytyä alueellisesti. Esimerkkinä Detroit, jota pidettiin ennen USA:n autoteollisuuden keskuksena, on kärsinyt autoteollisuuden muutoksesta voimakkaasti. (IFR 2017)

Robottiikka ja automaatio saattavat myös mahdollistaa monille pk-yrityksille liiketoiminnan laajentumisen uusille markkina-alueille. Vuosina 1993-2007 teollisuusrobottien hinnat laskivat jopa 80%, mutta sittemmin hintakehitys on tasaantunut. Robottiikkaa hyödyntämällä länsimaisilla yrityksillä on mahdollisuus kilpailla perinteisiä halpatyömaita vastaan tehostamalla omia toimintojaan. Kun tuotteen hinnalla ei enää voida kilpailla, yritykset alkavat hakea kilpailuetua muualta, esimerkiksi laadusta tai toimintavarmuudesta. Toimitusketjujen hallinta ja tuotannon optimointi ovat muun muassa esimerkkejä joiden avulla on mahdollista tehostaa tuotantoa tällaisessa tilanteessa. Ja korkean koulutustason maissa, kuten Suomessa, on tämäntyyppisten alojen asiantuntijoita paljon saatavilla.

### 2.3 Vaikutukset tuottavuuteen

Menestyvän liiketoiminnan kannalta tuotannon tärkeimpänä mittarina voidaan pitää tuottavuutta. Aiemmin esiteltyjen liiketoiminnan mittareiden voidaan kaikkien katsovan vaikuttavan tuottavuuden kehitykseen. Yksinkertaisesti tuottavuus voidaan määritellä seuraavasti:

$$\text{tuottavuus} = \frac{\text{tuotos}}{\text{käytetyt resurssit}}$$

Kaava 1 Tuottavuuden kaava (Slack ym. 2013, 56)

Tuottavuutta saadaan nostettua joko lisäämällä tuotantoa ja pitämällä resurssien määrä vakiona, tai pitämällä tuotannon määrä vakiona ja vähentämällä resursseja. Teollisuusrobotiikan avulla on mahdollista sekä kasvattaa tuotantoa, että vähentää resursseja. On kuitenkin huomioitava, että pelkkä robotin hankkiminen ei itsessään välttämättä lisää tuottavuutta, vaan väärin perustein hankittuna se saattaa esimerkiksi hidastaa tuotannon virtausta, sekä aiheuttaa paljon ylimääräistä työtä. Samoin on otettava huomioon prosessin kokonaisuus. Jos robotti sijoitetaan prosessin pullonkaulaan, sen ensisijaisena tehtävänä tulee olla tuotannon tehokkuuden tai virtauksen lisääminen, eikä niinkään pelkkien kustannushyötyjen tavoittelu.

Pullonkaula on mm. Lean-filosofiassa paljon käytetty termi, joka viittaa prosessin hitaimpaan vaiheeseen. Käytännössä jokaisesta prosessista on löydettävissä vaihe, joka toimii hitaammin kuin muut, ja näin ollen se määrittää koko prosessin maksimikapasiteetin (Slack ym 2013, 700). Mikäli koko prosessin kapasiteettia halutaan parantaa, onnistuu se ainoastaan kehittämällä pullonkaulaa. Tämä johtaa erittäin todennäköisesti pullonkaulan siirtymisen johonkin toiseen prosessin vaiheeseen. Yleensä pullonkaulaa ei saada kokonaan eliminoidua tuotannosta, vaan sen aiheuttamaa haittaa pyritään minimoimaan mm. tuotannonohjauksella ja erillisillä välivarastoilla.

Vaikka aiemmin esiteltyä tehokkuuden määritelmää käytetään ja sovelletaan laajasti, on sitä kohtaan esitetty myös kritiikkiä. Se mittaa prosessia pelkästään rahallisesti, eikä ota huomioon lainkaan aineettomiin hyödykkeisiin sijoitettua pääomaa. Tällaisia voivat olla esimerkiksi työntekijöiden työskentelymoraali tai tutkimus- ja tuotekehitystyöhön käytetyt investoinnit. Vääränlainen tehokkuuden tavoittelu voikin johtaa yrityksen kannalta huo-noon lopputulokseen. Tutkimus- ja tuotekehityksen lakkauttaminen voi parantaa hetkellisesti yrityksen tuottavuutta, mutta pidemmällä aikavälillä se aiheuttaa lähes varmasti haittaa esimerkiksi kilpailukyvyille. (Jackson 2003, 99)

Beer esittää tehokkuuden mittaamisen tilalle kokonaisvaltaisempaa termiä suorituskyky. Siinä prosessia arvioidaan kolmen tekijän kautta;

- Aikaansaannos: Mitä saadaan aikaan nykyisillä resursseilla.
- Kapasiteetti: Mitä nykyisillä resursseilla olisi mahdollista saavuttaa.
- Potentiaali: Mikä olisi mahdollista saavuttaa, jos prosessia kehitettäisiin omien resurssien mukaan mahdollisimman toimivaksi.

Beerin mukaan käyttämällä kolmea yllä mainittua mittaria, on yrityksen mahdollista arvioida suorituskykyä kokonaisvaltaisemmin. Se muun muassa paljastaa kulujen leikkauksen vaikutukset ennen kuin on liian myöhäistä. Kustannusten vääränlaiset leikkaukset näkyvät pienentyneenä aikaansaannoksena. Beerin ajatuksena on koko ajan tavoitella potentiaalista suorituskykyä, ja kaikki tuotantoon liittyvät toimenpiteet tulee arvioida sen kannalta, ollaanko muutoksen jälkeen lähempänä potentiaalista maksimia, vai ei. Esimerkkinä yksinkertainen kokoonpano työ. Automatisoimalla kokoonpanokustannukset saadaan tippumaan, mutta jos myös aikaansaannos tippuu, eli ero aikaansaannoksen ja potentiaalin välillä kasvaa, muutoksella on pidemmällä aikavälillä todennäköisesti negatiivinen vaikutus. (Jackson 2003, 99)

Riippumatta siitä käytetäänkö termiä tuottavuus vai suorituskyky, suuressa mittakaavassa tutkittuna teollisuusrobotiikan vaikutukset niiden kasvuun ovat kiistämättömät. Georg Graetz ja Guy Michaels (2015) analysoivat tutkimuksessaan 17 kehittyneen maan talouskehitystä vuosina 1993-2007. He laskivat teollisuusrobotiikan lisänneen työn tuottavuutta keskimäärin 0,37 %-yksikkö vuodessa. Yhtä vuotta kohden tulos ei tunnu kovinkaan merkittävältä, mutta koko 15 vuoden aikana, jonka analyysi kattoi, kokonaisvaikutus oli noin 10% koko bruttokansantuotteen kasvusta. Näin on perusteltua olettaa, että teollisuusrobotiikan merkitys pienemmässä mittakaavassa on vähintään saman suuntaisen.

## 2.4 Vaikutukset laatuun

Laadun määritelmiä on useita, historiassa muun muassa William Deming, Philip Crosby, Genichi Taguchi ja Joseph Juran ovat määritelleet laadun hieman kaikki hieman eri lähtökohdista. Joseph Juran määritteli laadun asiakaskokemuksen kautta, mikäli hyödyke oli sopiva sen käyttötarkoitukseen, tuote oli laadukas. (Joseph Juran 1992, 9) Ongelmana määrittelyssä on, että se ei esimerkiksi ota mitään kantaa fyysiseen laatuun. Deming taas määritteli laadun epäsuorasti; huono laatu tuotteessa johtuu vaihtelusta joko tuotannossa tai suunnittelussa. Tilastollisella laadunohjauksella vaihtelu ja epävarmuus saadaan vähennettyä minimiin ja tätä kautta prosessin laatua saadaan kehitettyä parhaiten. (Sharman 2015)

Tuotantoympäristössä laadun määritelmäksi sopii paremmin määritelmä: laatu on ilmaista (Crosby 1985). Sen perusajatuksena on, että virheelliset tuotteet nähdään pelkästään lisäkustannuksina yritykselle, esimerkiksi rikkiäisten tai kelvottomien tuotteiden



vaihtaminen uusiin. Tavoitteena tulisi siis aina olla nollavirhetaso, teoriassa nollavirhetasolla virheellisten tuotteiden aiheuttamat kustannukset ovat myös nollassa. Crosbyn määritelmää käytettäessä on syytä huomioida, että nollavirhetason saavuttamiseksi tuotantoa ja prosessia tulee kehittää, ja näitä kustannuksia ei lasketa mukaan laatukustannuksiin.

Teollisuusrobotiikka perustuu usein siihen, että tuotannossa yksi robotti hoitaa aina yhtä, tarkasti rajattua tehtävää. Usein tehtävä on todella yksinkertainen ja yksi sykli saattaa hyvinkin olla vain sekunnin mittainen. Laadun kannalta tärkein asia on, että toiminto, tai liike, on aina täysin sama. Jos robotin työn laatuun ei olla tyytyväisiä, pitää sen toimintaa jotenkin muuttaa. Kun robotin toiminta on saatu halutulle tasolle, robotti ylläpitää sitä ilman mitään erityisiä toimenpiteitä. Eli robotiikan avulla tuotannossa päästään tasalaatuisuuteen, jonka pohjalta parannuksia on helpompi lähteä suunnittelemaan ja toteuttamaan.

On tärkeää huomioida, että laatu ei ole mitenkään automaattinen seuraus teollisuusrobotiikasta. Yrityksen pitää määritellä selkeästi mitä se tavoittelee, sekä mitä ominaisuuksia tuotteessa tarkkaillaan, jotta voidaan olla varmoja sen laadusta. Vasta tämän jälkeen on mahdollista alkaa työskentelemään robottien parissa ja tekemään erilaisia säätöjä prosesseihin. Eli voidaan huomata, että ihmistyön merkitys ei vähenny tässäkään tapauksessa yhtään, se ainoastaan siirtyy uuteen paikkaan.

## 2.5 Teollisuusrobotiikka ja ergonomia

Ergonomia määritellään SFS-EN ISO 6385 standardissa seuraavasti: ”Tieteenala, jonka kohteena on ihmisen ja järjestelmän muiden osien vuorovaikutuksen ymmärtäminen, sekä osaamisale, joka soveltaa teoriaa, periaatteita, tietoja ja menetelmiä suunniteltuun ihmisen hyvinvoinnin ja järjestelmän kokonaissuorituskyvyn optimoimiseksi.” Eli yksinkertaistettuna sen tavoitteena on pitää työntekijä mahdollisimman hyvin työkykyisenä sopeuttamalla itse työ, ympäristö ja työvälineet työntekijälle sopiviksi. (Launis & Lehtelä 2011, 20).

Tehdasympäristössä ergonomiaan ja työturvallisuuteen kiinnitetään koko ajan enemmän huomiota. Huonon työergonomian ja työturvallisuuden aiheuttamat kustannukset voivat kasvaa suuressa yrityksessä todella suuriksi, jos niihin ei kiinnitetä huomiota. Paras tapa

niiden torjumiseen on toimia ennaltaehkäisevästi, sekä jatkuvasti seurata ja parantaa sisäisiä toimintamalleja.

Ergonomia ja työturvallisuus voidaan liittää toisiinsa, sillä niiden laiminlyönnit voivat aiheuttaa täysin samoja lopputuloksia, mutta hieman eri kautta. Työtapaturmat ovat äkillisiä ja odottamattomia vahinkoja, jotka voivat aiheuttaa pahimmillaan työkyvyn menetyksen. Laiminlyöty työergonomia voi myös pitkällä aikavälillä aiheuttaa työkyvyn alentumista ja myös pahimmillaan työkyvyttömyyttä.

Kuten jo aiemmin on todettu, teollisuusrobotiikka sopii parhaiten korvaamaan tylsiä ja yksinkertaisia tai esimerkiksi vaarallisia työvaiheita. Juuri tämän tyyppisissä töissä virheelliset työasennot ja piittaamattomuus voivat pikkuhiljaa lisätä esimerkiksi selkäkipuja tai pitkällä aikavälillä aiheuttaa kulumia niveliin. Oikeanlaisten automaattioratkaisujen käyttö onkin yksi tapa ennaltaehkäistä erilaisia ergonomiasta aiheutuvia sairauksia. Esimerkiksi nostamiseen voidaan käyttää erilaisia robottikäsivarsia. Jälleen kerran on kuitenkin syytä huomioida, että robotiikka ei missään tapauksessa johda automaattisesti hyvään työergonomiaan, vaan se vaatii hyvää suunnittelua ja aktiivisia toimia.

2010-luvun yksi suurista robotiikan kehitysaloista on ollut yhteistyörobotiikka (engl. collaborative robotics). Sen tavoitteena on kehittää robotteja, jotka voivat työskennellä ihmisen kanssa yhteistyössä ilman erillisiä turva-aitoja. Näin esimerkiksi on mahdollista parantaa sekä työturvallisuutta, että ergonomiaa. Yhteistyörobotiikka on vielä kuitenkin niin uutta, että on mahdotonta sanoa, löytyykö sille käytännön sovelluksia enemmän teollisuudesta vai esimerkiksi hoiva-alalta. Esimerkkinä mainittakoon vuonna 2014 julkaistu ABB:n YuMi-niminen robotti, joka kykenee kevyeen kokoonpanotyöhön turvallisesti ihmisen rinnalla (<http://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/yumi>).

### 3 ROBOTISOLU

Työssä käsiteltävän robottisolu toimii osana lautapeliin tuotantolinjastoa. Sen tehtävänä on pakata linjastolla kulkevaan pahvirasiaan muovinen välipohja sekä maksimissaan neljä korttipakkaa. Solu koostuu kahdesta scara-robotista (luku 3.2), neljästä tärymaljasta (luku 3.3), liukuhihnoista, jotka kulkevat roboteille, sekä osasta, joka asettaa välipohjan paikoilleen. Sen on suunnitellut ja toimittanut Kaptas Oy, ja se toimitettiin toimeksiantajayritykselle syksyllä 2009. Solun toimintaa selvennetään tarkemmin luvussa 3.1.

Robottisolun käyttöönoton aikana sen toiminnassa ilmeni erilaisia ongelmia, joita sekä toimittaja, että käyttäjä yrittivät ratkaista. Ongelmia ilmeni muun muassa välipohjan, tarttujien sekä anturien kassa. Välipohjien kanssa ongelma ratkesi muokkaamalla välipohjien materiaalia, jolloin ne asettuivat paremmin laatikkoon. Kaikkia ongelmia ei kuitenkaan saatu ratkeamaan yhtä helposti, koska syitä niiden taustalla ei saatu selville. Esimerkkinä mainittakoon robottien satunnaiset virhetilanteet joiden jälkeen robotit pitää palauttaa aloituspisteeseen. Näihin virhetilanteisiin ei löydetty järkevää syytä, ja jokainen virhetilanne keskeytti tuotannon aina vähintään viideksi minuutiksi. (Vuorio, J.)

Koko tuotantolinjaston toimintavarmuuden kannalta juuri satunnaiset virhetilanteet robottisolulla koettiin ongelmallisiksi, koska syitä kyseisen ongelman taustalla ei saatu selvitettyä. Koska kyseisellä tuotantolinjastolla eri työvaiheiden välillä ei ole mahdollista pitää yhtään puskurivarasatoa häiriötilanteiden varalle, vaikuttaa yhden tuotantolaitteen seisakki koko linjastoon. Eli satunnaisten häiriötilanteiden minimointi on tuotannon tehokkuuden kannalta tärkeää.

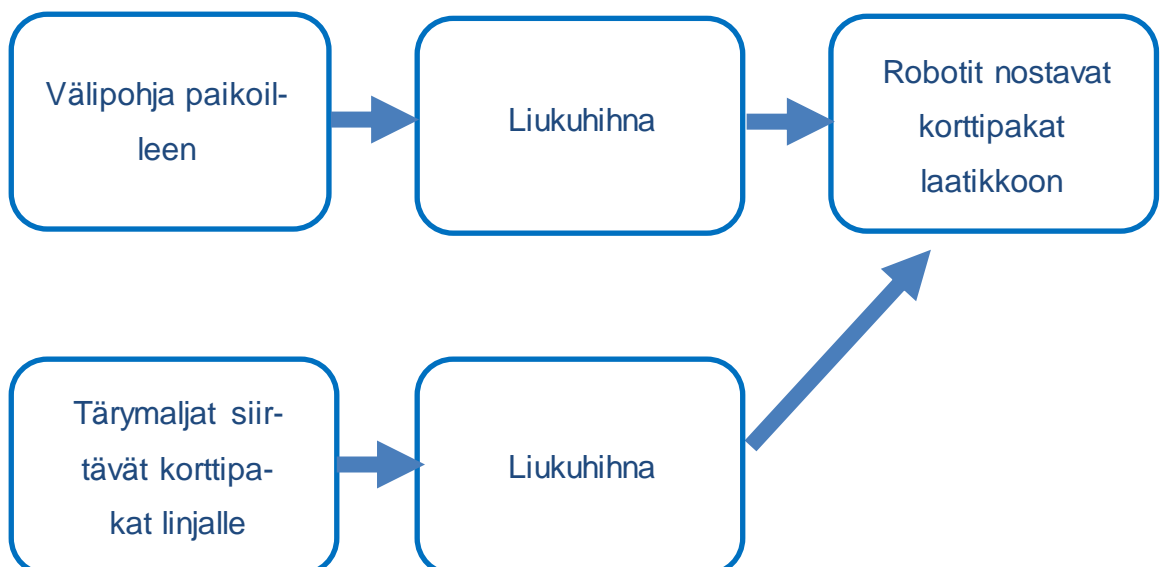
Yllä mainittujen ongelmien lisäksi yhtenä haasteena projektissa on toimeksiantajan sisäiset organisaatiomuutokset. Vuonna 2009 tuotantopäällikkönä työskennellyt henkilö on jo eläköitynyt, joten osa alkuperäisen käyttöönoton eri vaiheiden haasteista ja mahdollisista ratkaisuista on kadonnut hiljaisena tietona pois.

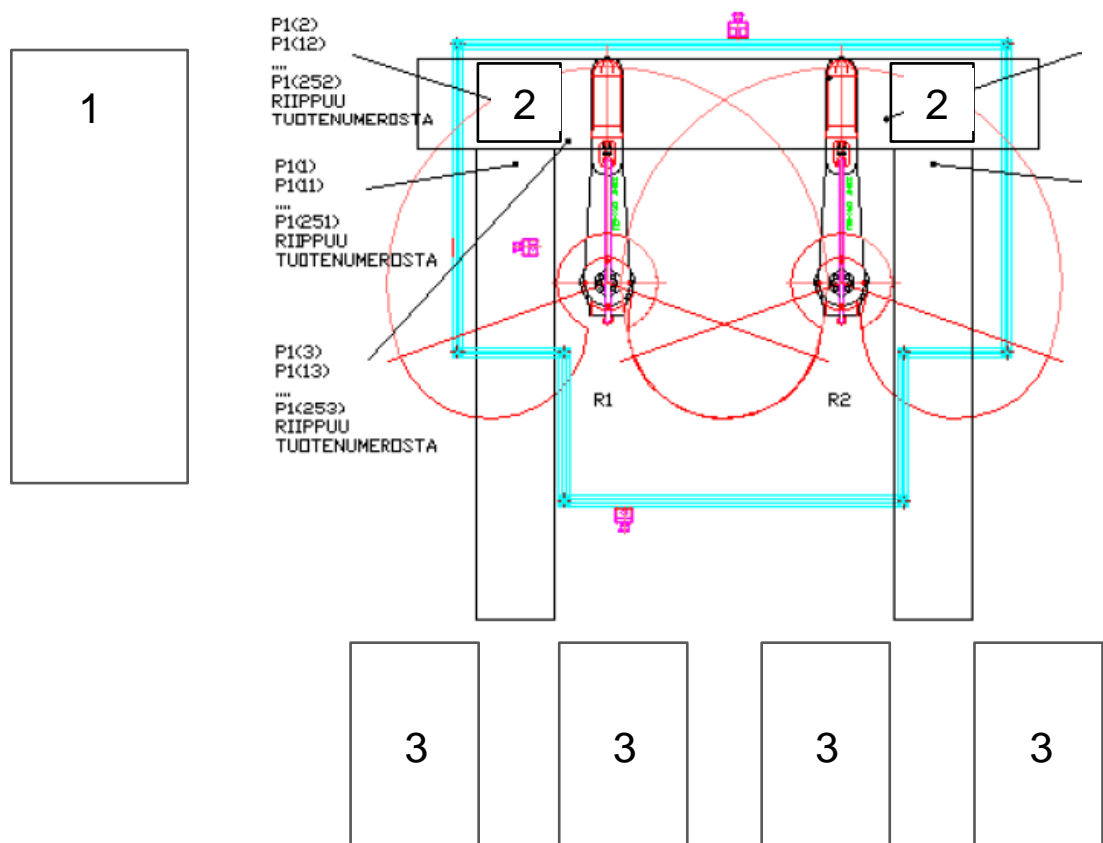
### 3.1 Tuotantoprosessi



Kaavio 1 Koko tuotantoprosessi. Punaisella ympäröity robottisolun osuus tuotantolinjastolla

Kaaviossa 1 on esitetty koko tuotantoprosessi, jonka osana robottisolu toimii. Tuotantolinjasto muodostuu useammasta erillisestä laitteesta, ja toimiakseen se vaatii 3-7 henkilöä tuotetusta pelistä riippuen. Kuvassa punaisella ympyröidyt kohdat 3 ja 4 suoritetaan tässä työssä käsiteltävällä korttirobottisolulla. Työ on aiemmin suoritettu pelkästään käsin kohdan 5. yhteydessä. Kaaviossa 2 on vielä tarkemmin esitetty solun toiminta.





Kuva 5 Robottisolun layout: 1. Välipohjan paikoilleen asettava osa, 2. Scara-robotit, 3, tärymaljat. Punaisilla viivoilla esitetty scara-robottien ulottuvuudet.

Tuotantolinjastolla pelilaatikko saapuu liukuhihnaa pitkin solussa ensimmäiseen vaiheeseen, jossa muovinen välipohja asetetaan paikalleen. Välipohjassa on neljä koloa, johon korttipakat voidaan laittaa, tai tarvittaessa myöhemmin linjastolla muita peliin liittyviä tarvikkeita. Tämän jälkeen laatikko jatkaa matkaa ensimmäiselle scara-robotille, joka asettaa kaksi pakkaa kerrallaan paikalleen. Roboteille syötetään korttipakkoja tärymaljojen avulla.

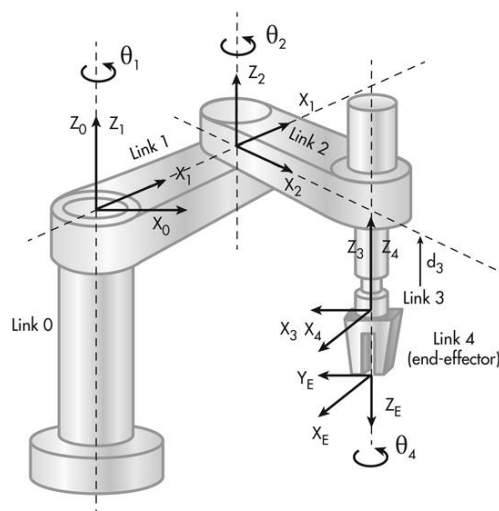
Tärymaljoja solussa on neljä kappaletta, ja ne toimivat toisistaan riippumatta. Niiden tehtävänä on kääntää korttipakat niin, että robotilla tarttuja on mahdollista nostaa se paikalleen. Tärymaljat syöttävät lisää pakkoja antureilta saadun tiedon pohjalta omaa liukuhihnaa pitkin scara-roboteille, ja näin ollen eivät siis käy koko ajan, vaan ainoastaan tarvittaessa. Solun on mahdollista toimia myös vajaateholla, eli esimerkiksi ainoastaan kahdella pakalla. Tällä hetkellä kuitenkin kaikissa peleissä, joissa vastaavia korttipakkoja käytetään, minimimäärä on kolme pakkaa.

### 3.2 SCARA Robotti

SCARA on lyhenne englannin kielen sanoista Selective Compliant Assembly Robot Arm, joka suoraan suomennettuna tarkoittaa valikoivasti taipuvaa kokoonpanorobottikäsivartta. Se kykenee liikkumaan neljällä akselilla (Kuva 7), ja kuten nimikin kertoo, se kehitettiin alun perin kevyeen kokoonpanotyöhön. (<http://www.bara.org.uk/robot-types/scara-robots.html>)

Robotti muodostuu kahdesta toisiinsa liitetystä poikittaisvarresta, jotka liikkuvat XY-tasossa, sekä pystysuuntaisesta varresta joka liikkuu Z-akselilla, myös akselinsa ympäri. Näin ollen robotin liikkeet muistuttavat ihmisen käsivarren liikkeitä. Tästä syystä robotti pystyy työskentelemään helpommin ahtaissa tiloissa, sekä sen on mahdollista myös väistää suhteellisen pieneen tilaan, esimerkiksi robottisolun tilan ahtauden vuoksi.

SCARA robotti kehitettiin Japanissa vuonna 1981 eri yritysten yhteistyöprojektina. Kehitystyössä mukana olleet yritykset olivat pääosin elektroniikkavalmistajia, joten robotissa haluttiin mieluummin keskittyä nopeuteen ja tarkkuuteen, kuin esimerkiksi painavien kappaleiden käsittelyyn. Nykyaikaisten SCARA-robottien kuormankantokyky on maksimissaan noin 20 kg, kun esimerkiksi käsivarsirobotit kykenevät nostamaan jopa 600kg. Nykyisin SCARA-robotteja käytetään laajasti erilaisiin kokoonpanotehtäviin esimerkiksi pienelektroniikan alalla. (Legnani & Fassi 2012, 6)



Kuva 6 Kuva 5 SCARA Robotti (<http://www.machinedesign.com/robotics/what-s-difference-between-industrial-robots>)

### 3.3 Tärymalja

Tärymalja on laite, jota käytetään laajasti kappaleidenkäsittelyssä. Sen tehtävänä on erotella, orientoida ja syöttää kappaleet seuraavalle työvaiheelle tai kuljetinhihnalle. Tärymaljan tärkeimpänä tehtävänä voidaan pitää kappaleen orientointia oikealla tavalla, joka on usein kriittisen tärkeää seuraavan työvaiheen kannalta. Sille on useita erilaisia käyttösovelluksia, ja se voikin toimia osana jotain isompaa automaattioratkaisua tai itsenäisenä laitteena osana tuotantolinjastoa. Tärymaljat koostuvat itse maljasta, sähkömoottorista, joka saa aikaan tärinän epäkeskopainojen avulla, sekä alustasta. Kuvassa 8 on esitetty robottisolun tärymaljat, sekä niiden syöttökaukalot. (<http://www.spectrumautomation.com/page/39/>)

Tärymaljojen etuina pidetään niiden luotettavuutta. Koska laitteisto itsessään on suhteellisen yksinkertainen, on sitä helppo huoltaa ja korjata. Sen lisäksi se ei aiheuta kappaleisiin mitään kosmeettista haittaa, koska se ei tartu niihin mitenkään. (<http://www.spectrumautomation.com/page/40/>)

Suuri haaste tärymaljojen käytössä taas on niiden joustamattomuus. Laitteisto pitää aina säätää ja asemoida toimimaan tietyllä kappaleella, eli laitteen tuottavuus laskee mitä pienempiä tuote-eriä sen avulla valmistetaan. Kappaleen koko ja paino aiheuttavat myös rajoituksia. Maksimipainoa voidaan pitää noin 150 grammaa, ja pituutena noin 15 senttimetriä. (<http://www.spectrumautomation.com/page/40/>)



Kuva 7 Solun tärymaljat

## 4 ROBOTTISOLUN KÄYTTÖÖNOTTO

### 4.1 Ennen mittauksia

Vuoden 2009 jälkeen, kun robottisolu hankittiin, sitä yritettiin ottaa aktiivisesti mukaan tuotantoon useamman kerran, mutta lopputulos oli kuitenkin aina sama. Käytön yhteydessä ilmenevät epämääräiset virhetilanteet hidastivat tuotantoa liikaa. Kuten todettua, toimiessaan kunnolla solu korvaa linjastolla yhden tai kahden ihmisen työpanoksen, ja kyseiset ihmiset siirretään toiseen tehtävään. Epävarman toimintakunnon vuoksi kyseisiä ihmisiä ei kuitenkaan ole uskallettu siirtää muualle. Tuotantolinjastolta vapautuneet ihmiset ovat siis pidetty lähietäisyydellä varmuuden vuoksi, jos solun toiminnassa tulee häiriöitä, ja työ joudutaankin suorittamaan käsin. (Vuorio J. & Huhtanen, M.)

Koska robottisolun käytöstä ja mahdollisista ongelmista ei ollut pidetty tarkkaa kirjaa, päätettiin ensimmäisenä ajaa kokeiluerä. Tämä oli tärkeää pelkästään siksi, että saataisi tietoon kaikki mahdolliset ongelmat. Kun lähtötilanne on selvillä, on mahdollista alkaa parantaa eri osa-alueita.

Robottisolu oli ollut käyttämättömänä aika pitkään, joten sen käyttökuntoon saattaminen vaati poikkeuksellisen paljon työtä. Esimerkiksi laitteen virtajohto piti osin vaihtaa, koska se oli saanut kosteutta solun yläpuolella olevasta ilmastokostuttajasta. Samaten robottien toimintakunto piti varmistaa, ja piti myös varmistaa robottien asetusarvot. Sen lisäksi robotin ympärille oli ajan saatossa kerääntynyt turhaa tavaraa, joten sen ympäristö piti myös siivotta, jotta työskentelylle olisi tarpeeksi tilaa. Kyseisiin huoltotöihin kului kokonaisuudessaan noin kaksi päivää, eli niihin kului poikkeuksellisen paljon aikaa, verrattuna normaaliin tilanteeseen, jossa solu on aktiivisesti käytössä.

Ennen varsinaisen mittauksen suorittamista, solu oli käytössä tuotannossa, ja sitä käytettiin noin tuhannen pelin valmistamiseen. Näin voitiin varmistaa, että mittaustulokset antaisivat mahdollisimman realistisen tuloksen. Tähän päädyttiin, koska mittauksessa tarkoituksena on selvittää, miten solu käyttäytyy normaalitilanteessa. Ensimmäisen tuhannen kappaleen valmistamisesta saatu data on esitetty liitteessä 3 (salattu). Vaikka saadut tulokset eivät vielä liittyneet varsinaiseen mittaukseen, niistä oli kuitenkin nähtävissä osa ongelmista, joita oli haastatteluiden perusteella esiintynyt myös aiemmin.



## 4.2 Koe-erä ja mittaukset

Varsinainen mittaus suoritettiin suoraan edellä mainitun vaiheen perään iltapäivän kuluessa. Tavoite oli valmistaa 2000 peliä käyttäen robottisolua, mutta linjaston häiriötilanteen vuoksi mittaus kattoi noin 1900 peliä. Aamupäivän aikana solun toimintaa oli jo säädetty jonkin verran, mutta odotettavissa oli että, uusia ongelmia saattaa ilmetä valmistettaessa suurempaa erää. Mittauksesta saatu data kokonaisuudessaan esitetty liitteessä 4 (salattu). Se suoritettiin mahdollisimman yhtäjaksoisesti, ”luonnollisten” keskeytysten lisäksi sen aikana pidettiin yksi kahvitauko.

Kaikkien yllätykseksi koko erä saatiin valmistettua ilman suurempia ongelmia. Toki korttirobottia säädettiin vielä hieman samalla kun se oli käytössä, mutta käytännössä se toimi juuri niin kuin sen kuuluukin. Virheellisiä laatikoita ei tullut ainuttakaan kappaletta ulos, ja satunnaisia virhetilanteita ei ilmennyt kertaakaan.

Sen sijaan tärymaljojen toiminnassa ilmeni uusi haaste; niiden syöttönopeus aiheutti satunnaisesti ongelmia. Tärymaljojen toiminta perustuu antureiden välittämään tietoon. Aina kun robotille tarvitaan lisää korttipakkoja, tärymalja käynnistyy, ja syöttää lisää. Tärymaljasta pääsee eteenpäin ainoastaan sellaiset pakat, jotka ovat oikeassa asennossa, ja kaikki väärässä asennossa olevat tippuvat tärinän vaikutuksesta maljan pohjalle. Välillä ilmeni hetkiä, jolloin tärymaljat eivät pysyneet robottien tahdissa ja solun käyttäjä joutuu syöttämään korttipakkoja käsin ohi tärymaljan, jotta linjaston virtaus jatkuisi tasaisena. Tilanne kuitenkin ratkesi varsin nopeasti ja tärymalja sai taas syötettyä pakkoja tarpeeksi nopeasti. Mittauksen aikana vastaavanlainen tilanne ilmeni kolme kertaa, mutta joka kerralla solun käyttäjä huomasi tilanteen ajoissa ja syötti pakkoja käsin tarvittavan ajan.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Mittauksien havaintoja

Mittausten aikana saadut havainnot tukevat johtopäätöstä, joka muodostui keskusteluissa eri työntekijöiden kanssa. Toimiessaan robottisolu on suhteellisen tehokas, ja se vähentää käsin tehdyn työn määrää suunnitellusti (Liite 5. Laskelma tuotannon mahdollisista säästöistä, salattu). Virhetilanteiden ilmetessä, ja niitä ratkottaessa, vastaan tulee kuitenkin ammattitaito ja kokemattomuus vastaavien laitteiden käytössä. Varsinaisen mittausjakson aikana solu oli ainoa tuotantolaite, jossa ei ilmennyt yhtään häiriötä.

Vaikka yhden havaintojakson perusteella nykytilanne näyttää hyvältä, kannattaa asiaa tarkastella kuitenkin isommasta mittakaavasta. Koe-erän valmistaminen ja mittauksien onnistuminen olivat suurelta osin kiinni ammattitaitoisesta koneen käyttäjästä. Aamupäivän aikana ensimmäisessä testiajossa konetta käytti henkilö, joka ei ollut saanut kunnollista perehdytystä. Tuolloin häiriön ilmantuessa haasteeksi muodostui jo pelkän häiriön aiheuttaneen syyn löytäminen.

Perehdytyksen puute ei missään nimessä liity käyttäjään, vaan ennemminkin organisaatioon. Tällä hetkellä koko henkilöstöstä ainoastaan yksi henkilö osaa operoida kyseistä solua. Nykyinen tilanne on pidemmällä aikavälillä kestämaton. Tuotannossa, joka toisinaan toimii välillä myös kahdessa vuorossa, pitäisi useamman ihmisen osata käyttää solua edes auttavasti. Näin voitaisi taata sen toiminta joka työvuorossa.

Keskusteluissa eri työntekijöiden kanssa kävi ilmi, että kukaan heistä ei ollut saamassa opastusta laitteen käyttöön sen saapuessa taloon vuonna 2009. Ajan saatossa alkupe räisen koulutuksen saaneet henkilöt ovat kadonneet organisaatiosta, välittämättä tietoaan eteenpäin. Näin nykyisen henkilökunnan on käytännössä kokonaan itse pitänyt opiskella solun käyttö.

## 5.2 Robottisolun toiminnan vaikutukset

Johtopäätösten tekeminen suhteellisen pienen mittausjakson perustella voi antaa kokonaistilanteesta yksipuolisen kuvan. Laajempi tutkimus olisi saattanut nostaa esiin seikoja, jotka vielä toistaiseksi jäivät piiloon. Suoritettu mittausjakso oli kuitenkin työn luonteen ja tuotannon aikataulun kannalta paras vaihtoehto. Myös haastatteluiden pohjalta muodostunut kokonaiskuva vastasi mittaustuloksia.

Solun toimintaa arvioidessa on käytetty aiemmin työssä esiteltyjä liiketoiminnan mittareita; laatu, nopeus, luotettavuus, joustavuus ja kustannukset. Niiden avulla on pyritty arvioimaan solun toiminnan kokonaisuutena, vertailukantana on pidetty käsityönä suoritettua samaa työvaihetta. Jo ennen mittaustuloksia oli selvää, ettei robottisolun käyttö tuotannossa ole joka mittarilla kannattavaa, ja sitä ei myöskään kannata tarkastella niin. Kokonaisuus muodostuu viidestä eri mittarista, ja ne ovat kaikki vaikutuksessa toisiinsa. Eli toisen arvon muutos vaikuttaa aina myös muihin. Aisa voidaankin mieltää joukoksi erilaisia kompromisseja.

Robottia käyttäessä työn laatu on yksi tekijä, jonka odotetaan nousevan. Robotti suorittaa saman työvaiheen aina samoin, joten työvaihetta on helppo kehittää, ja laatua näin parantaa. Laatuongelmia on kuitenkin ilmennyt erittäin harvoin, kun työ suoritetaan käsin. Tämä johtuu siitä, että seuraavassa työvaiheessa linjastolla on aina yksi tai kaksi ihmistä, jotka havaitsevat mahdolliset ongelmat. Normaalisti toimiessa robottisolun ei siis pitäisi heikentää, mutta ei myöskään juuri parantaa lopputuotteen laatua.

Nopeus on toinen selkeä mittari, jonka odotetaan kasvavan siirryttäessä käsityöstä robottiin. Valmistajan mukaan solu kykenee käsittelemään 1500 peliä tunnissa. On kuitenkin syytä huomata, että vaikka yksi työvaihe saadaan automatisoitua, on linjastolla edelleen työtä, joka pitää suorittaa käsin. Nämä käsin tehtävät vaiheet määrittävät pitkälti linjaston maksiminopeuden. Jokaisessa pelissä käsin tehdyt työvaiheet poikkeavat hieman toisistaan, mutta normaali nopeus on noin 1000-1200 peliä tunnissa. Robottisolu käyttö siis mahdollistaa nopeuden kasvattamisen, mutta toistaiseksi nopeus määrittyy käsin tehtyjen työvaiheiden mukaan.

Luotettavuuden arviointi on lyhyen mittausjakson aikana hankalaa. Työntekijöitä haasteltaessa solun aikaisemman ongelmat nousivat useasti esiin. Työnjohdon kannalta suurimmat ongelmat ovat olleet juuri luotettavuuden kanssa. Jos ei ole voitu luottaa siihen, että solu toimii kunnolla, ei sen vapauttamaa työvoimaa ole uskallettu kunnolla vapauttaa

toisiin tehtäviin. Kuitenkaan mittausjakson aikana ei ilmennyt vastaavia ongelmia. Voidaankin todeta, että mikäli ongelmat luotettavuuden kanssa saadaan ratkaistua, on sen toiminta selvästi ennustettavampaa kuin ihmisen tekemä työ. Voidaan myös todeta, että jos solun toimintavarmuus saadaan korkealle tasolle, sen käyttö on ehdottoman suositeltavaa.

Joustavuus on hyvä esimerkki suureesta, joka erittäin todennäköisesti kärsii automatisoinnin seurauksena. Yleisesti ottaen ihminen on todella joustava ja pystyy mukautumaan lähes minkälaiseen työhön tahansa. Robotit taas kykenevät kyllä suorittamaan laajalti erilaisia tehtäviä, mutta ainoastaan yhtä kerrallaan. Uuden työvaiheen ohjelmointi on yleensä aikaa vievä prosessi. Tässä työssä käsiteltävän työvaiheen automatisointi ei kuitenkaan vaikuta kokonaisuuteen kovinkaan paljoa, koska korttien laittaminen laatikkoon ei vaadi erityistä sorminäppäryyttä, joten se on suhteellisen mekaaninen työvaihe myös käsin tehtynä.

Mittausjakson perusteella solun suurin hyöty oli kustannussäästö. Solua käyttämällä tuotantolinjastolta pystyttiin vähentämään pelistä riippuen yksi tai kaksi henkilöä toisiin tehtäviin. Yhden ihmisen vähentäminen saa aikaan 14% säästöt henkilöstökustannuksissa ja kahden henkilön 25%. Henkilöstökustannusten pienentyminen on konkreettinen ja välitön hyöty. Toimeksiantajan tuotantopäällikön mukaan solua on mahdollista käyttää noin 40% koko lautapelituotannossa, eli vuositasolla käytön pitäisi aiheuttaa selviä säästöjä. Kokonaiskustannuksiin vaikutus ei kuitenkaan ole yhtä suuri, vaan säästö näkyy tuotannon henkilöstökustannusten pienentymisenä, joka muodostaa osan kokonaiskustannuksista.

### 5.3 Jatkotoimenpiteitä

Mittausten jälkeen solu on ollut käytössä, ja sen käyttökokemukset ovat vahvistaneet mittauksien aikana saatuja havaintoja. Selvää siis on, että solu on toimintakuntoinen, ja sitä pystytään hyödyntämään tuotannossa halutulla tavalla. Jotta pakkaussolusta olisi tulevaisuudessa mahdollista saada kaikki potentiaalinen hyöty irti, se vaatisi vielä erilaisia jatkotoimenpiteitä. Alla olevassa listauksessa on esitetty huomioita, joita on noussut esiin omien havaintojen ja haastatteluiden pohjalta.

- Välipohjien syöttömekanismin kehitys: Aiheuttaa satunnaisesti pullonkaulan linjastolla. Muokkauksella on mahdollista täydentää isompi määrä välipohjia kerrallaan soluun. Näin solun toimintaan tulee vähemmän keskeytyksiä ja virtaus tasoituu.
- Tuotantolinjaston eri laitteiden välinen kommunikaatio helpottaisi valmistuksen ohjausta: Mahdolliset häiriötilanteet erityisesti linjaston loppupäässä aiheuttavat virtauksen epätasaisuutta. Esimerkiksi suhteellisen yksinkertaisilla anturiratkaisuilla olisi mahdollista toteuttaa eräänlainen imuohjaus. Eli linjaston ensimmäinen vaihe tuottaisi kansia ja pohjia ainoastaan silloin kun loppupää pystyy ne prosessoimaan.
- Ei tarpeeksi osaavia käyttäjiä: Haastatteluiden pohjalta muodostui kuva, että selkeää perehdyttämismallia ei ole. Selkeä perehdyttämismalli ja sen toteuttaminen estäisi vastaavanlaiset tilanteet tulevaisuudessa.
- Yhteistyökumppani kehitykseen: Koska solun valmistajan kanssa yhteistyö ei sujunut halutulla tavalla, voisi olla hyödyllistä löytää paikallinen yritys, joka pystyy toteuttamaan mahdolliset muutostyöt ja myös auttaa erilaisissa ongelmatilanteissa.
- Välipohjien laatuun kiinnitettävä huomiota: Mittauksen aikana havaittiin, että solu ei pysty käsittelemään huonolaatuisia välipohjia. Operaattori joutuiikin käyttämään paljon aikaa varmistaakseen välipohjien laadun. Mittausten aikana ei selvinnyt oliko mahdolliset ongelmat valmistuksesta johtuvia, vaiko säilytyksen yhteydessä aiheutuneita. Välipohjat säilytetään trukkilavoilla, eikä niitä ole suojattu kolhuilta mitenkään, on siis mahdollista, että ne vahingoittuvat kuljetuksen tai säilytyksen yhteydessä.
- Projektien dokumentointi: Työssä käsitellyn solun kohdalla yhtenä suurena haasteena oli dokumentaation puute. Tarkka dokumentointi läpi koko projektin mahdollistaa tulosten seurannan projektin aikana. Kirjaamalla alkuperäiset tavoitteet, mahdolliset mittaukset, korjaukset, ym. ylös, pystyy projektiin perehdyttämään tarvittaessa myös muita henkilöitä paljon helpommin.
- Projektiryhmän perustaminen: Perustamalla projektiryhmä, joka ottaa vastuun kokonaisuuden hoitamisesta, asia etenisi helpommin. Tärkeää on, että ryhmässä on edustettuna myös koneen osaava käyttäjä, joka tuntee asian käytännön toteutuksen.

## LÄHTEET

- Bogue, R. 2013. Robotic vision boosts automotive industry quality and productivity. *The Industrial Robot*, Vol 40, issue 5, 415-419. Viitattu 22.2.2018, <http://dx.doi.org.libproxy.tut.fi/10.1108/IR-04-2013-342>
- Brogårdh, T. 2007. Present and future robot control development—An industrial perspective, ABB Robotics: Västerås, Viitattu 29.8.2017. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.01.002>.
- Chaline, E 2012. 50 Konetta jotka muuttivat maailmaa, Quid Publishing
- Crosby, P. 1985, Laatu on ilmaista, suom. Anna-Riitta Vuorikoski, Laatuteema Oy, Helsinki
- Fassi, I & Legnani, G. 2012. Robotics: State of the Art and Future Trends, Nova Science Publisher Inc., New York
- Graetz, G & Michaels, G. 2015. Robots at Work, Centre for Economic Performance, Lontoo
- <http://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/yumi>. Viitattu 1.2.2018
- <http://www.bara.org.uk/robot-types/scara-robots.html>. Viitattu 23.8.2017
- <http://www.spectrumautomation.com/page/40/>. Viitattu 20.9.2017
- International Robotics Federation (IRF) 2017, The Impact of Robots on Productivity, Employment and Jobs. <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/position-paper>
- Jackson, M. 2003, Systems Thinking: Creative Holism to Managers, John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Juran, J. 1992. Juran on quality by desing: the new steps of planning quality into goods and services, Simon & Schuster Inc, USA
- Launis, M & Lehtelä J. 2011. Ergonomia. Työterveyslaitos, Tammerprint Oy, Tampere
- Liikenne- ja Viestintäministeriö 2016, Robotiikan taustaselvityksiä. Viitattu 21.9.2017. <https://www.lvm.fi/julkaisuja/2016>
- SFS-EN ISO 10218-1. Robotit ja robotiikkaturvalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- Sharman, A. 2015, "BACK TO THE FUTURE", *The Safety & Health Practitioner*, vol. 33, no. 12, 42-42. Viitattu 27.2.2018, <https://search-proquest-com.ezproxy.turkuamk.fi/docview/1753243844/>
- Slack, N.; Brandon-Jones, A & Johnston, R. 2013, Operations Management, 7. Painos, Pearson Education Limited, Harlow
- Talouselämä 4.3.2016, Saatavilla <http://www.talouselama.fi/uutiset/uudenkaupungin-autotehdas-teki-huiman-robotikaupan-suomen-kaikkien-aikojen-suurin-6310509>.

## Käytössä olevat teollisuusrobotit maakohtaisesti

Country	2014	2015	2016*	2019*
<b>America</b>	<b>32,616</b>	<b>38,134</b>	<b>40,200</b>	<b>50,700</b>
Brazil	1,266	1,407	1,800	3,500
North America	31,029	36,444	38,000	46,000
Rest of South America	321	283	400	1,200
<b>Asia/Australia</b>	<b>134,444</b>	<b>160,558</b>	<b>190,200</b>	<b>285,700</b>
China	57,096	68,556	90,000	160,000
India	2,126	2,065	2,600	6,000
Japan	29,297	35,023	38,000	43,000
Republic of Korea	24,721	38,285	40,000	46,000
Taiwan	6,912	7,200	9,000	13,000
Thailand	3,657	2,556	3,000	4,500
other Asia/Australia	10,635	6,873	7,600	13,200
<b>Europe</b>	<b>45,559</b>	<b>50,073</b>	<b>54,200</b>	<b>68,800</b>
Central/Eastern Europe	4,643	5,976	7,550	11,300
France	2,944	3,045	3,300	4,500
Germany	20,051	20,105	21,000	25,000
Italy	6,215	6,657	7,200	9,000
Spain	2,312	3,766	4,100	5,100
United Kingdom	2,094	1,645	1,800	2,500
other Europe	7,300	8,879	9,250	11,400
<b>Africa</b>	<b>428</b>	<b>348</b>	<b>400</b>	<b>800</b>
not specified by countries**	7,524	4,635	5,000	8,000
<b>Total</b>	<b>220,571</b>	<b>253,748</b>	<b>290,000</b>	<b>414,000</b>

Sources: IFR, national robot associations.

## Teollisuusrobottien määrä suhteutettuna väkiluun.

Kuvassa esitetty teollisuusrobottein määrä per 10 000 asukasta.

